

# Zeitskalen der Sternentwicklung

(1)

Sternentwicklung und die charakteristischen Zeitskalen führen aus Gravitationskraft, elektromagn. Kraft und Kernkraft (starke WW u. schw. WW)

Aus Messung (Sonne) :	$M_{\odot}$	Masse d. Sonne	$1,99 \cdot 10^{30} \text{ kg}$
	$R_{\odot}$	Radius "	$6,96 \cdot 10^{10} \text{ cm}$
	$L_{\odot}$	Luminosität	$3,86 \cdot 10^{33} \text{ erg s}^{-1}$
		$1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$	$\Rightarrow 3,86 \cdot 10^{26} \text{ W}$

## 1) Free-fall Zeitskala (dynam. Zeitskala):

Falls keine Kraft die Sonne gegen die Gravitationskraft halten würde, würde Sonne im freien Fall kollabieren. Testteilchen fällt von der Oberfläche eines Sternes mit  $R$  Masse  $M$ ; Entfernung sei  $r$

$$\text{Beschleunigung: } \frac{d^2 r}{dt^2} = - \frac{GM}{r^2}$$

Integration mit Randbedingung  $r=R$  bei  $t=0$

(2)

$$\Rightarrow t_{\text{dyn}} = \frac{1}{2} \left( \frac{R^3}{GM} \right)^{1/2} \approx 27 \text{ min}$$


## 2) Kelvin-Helmholtz-Kontraktion (Zeitskala)


Spätes 19. Jahrhundert: „Quelle d. Sonnenenergie ist die Gravitationsenergie“

Gravitationsenergie:

$$U = - \frac{G m_1 m_2}{r}$$

Annahme d. Einfachheit halber Kugel mit konst. Dichte

$m_1$ :  Masse mit Radius  $r$ ,  $\rho = \text{const}$

$m_2$ :  Schale mit Dicke  $dr$ :  $4\pi r^2 dr$

$$U = -G \int_{0}^R \frac{\rho(r) 4\pi r^2 dr}{r}$$

$$= -G \int_{0}^R \frac{\frac{4\pi}{3} \rho^3 r^3 \cdot 4\pi r^2 dr}{r}$$

$$= -G \frac{16}{3} \pi^2 \rho^2 \int_{0}^R r^4 dr$$

$$= -G \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 R^5 = -\frac{3}{5} \frac{\pi^2 G}{R}$$

#

$$t_{KH} = \frac{U}{L_{\odot}} \approx 2 \cdot 10^6 \text{ Jahren} \approx \underline{\underline{10^7 \text{ yr}}}$$

Geologisches Alter der Erde  $\sim$  Milliarden Jahre  $\Downarrow$   
 (Kelvin: „Geologen irren“!)  $\Downarrow$

### 3) Nukleare Zeitskala (Erster Zeitskala)

(4)

$$t_{\text{nuc}} = \epsilon_{\text{SM}} \cdot \epsilon_{\text{RH}} \cdot \frac{M_{\odot} c^2}{L_{\odot}}$$

$\epsilon_{\text{RH}} \approx 7 \cdot 10^{-3}$  Anteil der Restmasse, die bei der Umwandlung von Protonen in  $\alpha$ -Teilchen frei wird

$\epsilon_{\text{SM}} \approx 10^{-1}$  10% der Masse, die verbrannt während die Sonne in der Hauptreihe ist

$\Rightarrow t_{\text{nuc}} \approx 10^{10} \text{ yr}$  charakt. Zeit der Sternentwicklung auf Hauptreihe

$$t_{\text{dyn}} \ll t_{\text{KH}} \ll t_{\text{nuc}}$$

Die meisten Sterne verbringen den größten Teil in ihrem GG mit langsamen Veränderungen der Zusammensetzung während ( $t_{\text{nuc}}$ ) Kernfusion stattfindet.

Kurze Zeitstrahl:

(5)

- Dynam.: stellare Kollapse / Supernova
- Kelvin-Helmoltz: Phase bevor Kernfusionsprozess einsetzen (pre-main sequence, Vor-Hauptreihe)